

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra mechanické technologie**

**Studium vlastností povlaků aplikované na obráběcí  
nástroje**

**Study of Properties Coatings Applied on Cutting Tools**

**Student:**

**Eva Burešová**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

**Ostrava 2012**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Eva Burešová**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: Studium vlastností povlaků aplikované na obráběcí nástroje  
Study of Properties Coatings Applied on Cutting Tools

### Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor současného stavu povlaků používaných pro obráběcí nástroje.
2. Prostudujte vlastnosti a technologii aplikace těchto povlaků.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Zpracujte technickou zprávu.

### Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.  
PODJUKLOVÁ, J.: *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 1994. 1. vydání. 71 s. ISBN 80-7078-235-8.  
BURAKOWSKI, T., WIERZCHOŃ, T.: *Surface Engineering of Materials*. CRC Press LLC, 1999. 592 s. ISBN 0-8493-8225-4.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..21.5.2012.....

.....Eva Burešová.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 21.5. 2012 .....

..... Eva Burešová .....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Eva Burešová

Adresa trvalého pobytu autora práce: Zahradní 292

789 73 Úsov

---

**ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

BUREŠOVÁ, E.: *Studium vlastností povlaků aplikované na obráběcí nástroje*. Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2012, 50 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

V bakalářské práci se zabývám studiem vlastností povlaků aplikované na obráběcí nástroje. V mém případě se jedná o vyměnitelné břitové destičky. V teoretické části práce byly popsány a prostudovány moderní povlaky používané v současné době na obráběcí nástroje, metody nanášení těchto povlaků a jejich vlastnosti. V experimentální práci byly zkoušeny tři vyměnitelné břitové destičky s různým povlakem. Provedl se chemický rozbor povlaků a podkladového materiálu. Měřila se drsnost funkčních ploch destiček, fázové rozhraní vrstev povlaků, tloušťky jednotlivých vrstev povlaků a korozní odolnost v solné komoře. Popis zkoušek, výsledky a vyhodnocení je uvedeno v závěru bakalářské práce. Nejlepší výsledky vykazoval povlak na bázi TiAlSiN.

**ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

BUREŠOVÁ, E.: *Study of Properties Coatings Applied on Cutting Tools*. Bachelor thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2012, 50 p. Thesis head: Jitka Podjuklová, Prof. Assoc. PhD MSc.

The thesis deals with the study of properties of coatings applied to the cutting tools. In my case, the inserts. In the theoretical part of this work have been described and studied modern coatings currently in use on machine tools, methods of application of these coatings and their properties. In the experimental work were tested three interchangeable inserts with different coatings. There has been performed the chemical analysis of the coating and background material. It has been measured the roughness of the surface functional platelet phase boundary layer coatings, the thicknesses of individual layers of coatings and corrosion resistance in salt chamber. Description of the tests, results and evaluation is concluded in the thesis. The best results has been showed by coating based on TiAlSiN.

## OBSAH

	strana
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	8
1 ÚVOD.....	9
2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU POVLAKŮ POUŽÍVANÝCH NA OBRÁBĚCÍ NÁSTROJE.....	10
2.1 Moderní povlaky.....	10
2.1.1 Vrstvy na bázi TiAlN.....	10
2.1.2 Vrstvy na bázi CrAlN.....	10
2.1.3 Strukturované vrstvy.....	11
2.1.4 Kluzné vrstvy.....	12
2.1.5 Univerzální vrstva.....	12
3 TECHNOLOGIE APLIKACE POVLAKŮ.....	13
3.1 PVD technologie.....	13
3.1.1 Klasické naprašování.....	14
3.1.2 Magnetronové naprašování.....	14
3.1.3 Technologie nízkonapětového oblouku.....	14
3.2 CVD technologie.....	15
3.2.1 Plazmaticky aktivovaná CVD metoda.....	16
3.2.2 Middle Temperature CVD metoda.....	16
4 VLASTNOSTI POVLAKŮ.....	17
4.1 Tvrdost.....	17
4.2 Mikrotvrdost.....	18
4.3 Tloušťka vrstvy.....	19
4.4 Adheze.....	19
4.5 Drsnost.....	20

---

4.6 Odolnost vůči oxidaci.....	21
5 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	25
6 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ.....	26
6.1 Chemická analýza povlaků.....	26
6.2 Chemická analýza podkladového materiálu.....	31
6.3 Měření drsnosti dle ČSN EN ISO 4287.....	35
6.4 Fázové rozhraní a měření tloušťek vrstev povlaků.....	40
6.5 Korozní zkouška odolnosti dle ČSN EN ISO 9227.....	46
7 ZÁVĚR.....	48
8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	50

---

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

ČSN	- česká státní norma	[-]
EN	- evropská norma	[-]
ISO	- mezinárodní norma	[-]
HB	- tvrdost dle Brinella	[N/mm <sup>2</sup> ]
HV	- tvrdost dle Vickerse	[N/mm <sup>2</sup> ]
HRC	- tvrdost dle Rockwella	[N/mm <sup>2</sup> ]
PVD	- Physical Vapour Deposition	[-]
CVD	- Chemical Vapour Deposition	[-]
VBD	- vyměnitelná břitová destička	[-]
HSS	- rychlořezná ocel	[-]
SK	- slinutý karbid	[-]
SEM	- skenování elektronovým mikroskopem	[-]
Ra	- průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
Rz	- největší výška profilu	[μm]
Rq	- střední kvadratická úchylka profilu	[μm]
Rp	- největší výška výstupků profilu	[μm]
Rv	- největší hloubka prohlubní profilu	[μm]
Rsk	- šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie)	[-]
Rku	- špičatost posuzovaného profilu	[-]
Rlo	- rozvinutá délka profilu	[mm]
λc	- filtr, který definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti	[mm]



## 1 ÚVOD

V současné době se v oblasti obrábění a tváření používají převážně povlakované nástroje ze slinutého karbidu (dále jen SK) a nástroje z rychlořezné oceli (dále jen HSS). V obrábění jsou ve větší míře používány vyměnitelné břitové destičky (dále jen VBD). Použití nástroje s VBD je hospodárnější (možnost destičku otočit a obrábět druhou stranou) než při použití běžného nástroje, který je vyroben z jednoho kusu. Povlakované nástroje vůči nástrojům bez aplikace povlaku mají lepší vlastnosti a delší životnost. Mezi základní fyzikální vlastnosti povlaku patří tvrdost, adheze, drsnost, tloušťka a kluzné vlastnosti. Chemickými vlastnostmi jsou odolnost vůči oxidaci a tepelná stabilita. V procesu výroby je třeba provádět řadu experimentálních zkoušek k zjištění optimálních vlastností povlaku. Z důvodu stále se vyvíjejících nových obráběných materiálů jsou kladeny vyšší nároky na vlastnosti povlaků obráběcích nástrojů. Předmětem bakalářské práce je prostudování a srovnání vybraných vlastností povlaku označených 6615,8030,9230.

---

## 2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU POVLAKŮ POUŽÍVANÝCH PRO OBRÁBĚCÍ NÁSTROJE.

### 2.1 Moderní povlaky

#### 2.1.1 Vrstvy na bázi TiAlN

Vrstvy na bázi TiAlN nahrazují již málo používané vrstvy TiN a TiCN. Historicky nejstarší a původně vyvinuté vrstvy TiN dosahují tvrdosti HV 23 GPa a maximální pracovní teploty 600°C.[1]

Z důvodu požadavku na vyšší abrazivní odolnost, byly vyvinuty velmi tvrdé vrstvy TiCN. Tvrdost těchto vrstev dosahovala HV až 35 GPa, ale pracovní teplota byla max. 450°C. Vrstvy TiCN i přes svou nízkou pracovní teplotu mají vysoký koeficient frikce, takže jsou v určité oblasti aplikací jen málo nahraditelné.[1]

Třetí vývojovou skupinu jsou vrstvy TiAlN, které mají tvrdost HV až 33GPa a maximální pracovní teplotu přesahující někdy 800°C. Tyto vrstvy splnily dva nejdůležitější požadavky průmyslových aplikací na vysokou abrazivní odolnost a chemickou stabilitu při vysokých teplotách. Některé vrstvy jsou ještě obohaceny o další prvky, které v malém množství pozitivně ovlivňují strukturu vrstev, a tím přispívají ke zvýšení jejich užitných vlastností. Dostat se do produktivních řezných aplikací, vede k vývoji vrstev s vyšším podílem Al, než je běžný poměr Ti:Al = 50 : 50. Zvýšením podílu Al se sníží tvrdost vrstvy. Existují však limity pro tvorbu tvrdé kubické struktury.[1]

#### 2.1.2 Vrstvy na bázi CrAlN

Tyto typy vrstvy se v odborných publikacích objevují už od roku 1990. Vrstvy na bázi CrAlN jsou alternativou k vrstvám TiAlN bez přítomnosti Ti. Výhoda těchto vrstev je jejich vysoká chemická stabilita při vysokých teplotách a větší adheze k substrátu. Pro zachování kubické struktury je poměr obou metalických složek Cr : Al = 30 : 70. Zvyšováním podílu Al se vytváří nové fáze AlN, které zhoršují fyzikálně-chemické vlastnosti vrstev. Avšak vysoký podíl Al má příznivý vliv na oxidační odolnost vrstev. Vytváří oxidickou ochrannou vrstvu Al-Cr-O, která brání dalšímu pronikání kyslíku do vrstvy. Díky této ochranné vrstvě se pracovní teplota pohybuje cca 800°C i výše. Přesto

v této oblasti teplot dochází k masivní oxidaci vrstev. Příprava multivrstevných systémů a nanokompozitních vrstev je možné dostat se do vyšších oxidačních odolností. Na trhu se již objevilo nové provedení vrstev CrAlSiN s obsahem Cr do 6%. Tato varianta má velmi vysoké hodnoty tepelné odolnosti. Dosažením vhodného složení vrstvy, nebude docházet k oxidaci vrstvy za vysokých teplot. Multivrstevné systémy umožňují lepší adhezi k substrátu a zmenšují vnitřní napětí ve vrstvách. Tloušťky těchto vrstev mohou dosahovat až do 10  $\mu\text{m}$ . Běžné vrstvy mají tloušťku cca 1 až 3  $\mu\text{m}$ . Tvrdost vrstev CrAlSiN dosahuje HV přes 35GPa. Mohou tedy doplňovat vrstvy TiAlN v některých aplikacích, kde jsou vysoké nároky na tepelnou stabilitu a chemickou odolnost.[1]

### 2.1.3 Strukturované vrstvy

Se stále vyššími požadavky na chemickou stabilitu a vyšší teplotu se již několik let připravují nové vrstvy v různých strukturovaných modifikacích. Jde o multivrstvy, gradientní vrstvy a nanostrukturované vrstvy, patří sem i skupina nanokompozitní vrstvy.

Multivrstvy obecně zvyšují odolnost ostatních vrstev proti šíření poruch. Dále zvyšují výslednou měřenou tvrdost a další užité vlastnosti v aplikacích. Výhoda těchto vrstev je nanášet vrstvy větších tloušťek než v případě monovrstev.

Gradientní vrstvy jsou systémy s průběžně proměnným složením vrstvy TiAlN. K povrchu vrstvy se zvyšuje obsah Al, aby zabezpečil vysokou oxidační odolnost při zachování dostatečné tvrdosti vrstvy.

Nanovrstvy představují systém multivrstev s tloušťkou pod 10 nm. Výrazně zvýšené tvrdosti celé vrstvy dosáhneme, jestliže rozhraní mezi jednotlivými vrstvičkami s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi bude dostatečně ostré.

Nanokompozitní vrstvy představují povlaky s velmi vysokou tvrdostí, vysokou tepelnou stabilitou a odolností vůči oxidaci. Díky své originální struktuře dnes reprezentují novou generaci velmi tvrdých PVD povlaků. Představitelem na trhu je povlak TiAlN a  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Tvrdost HV těchto vrstev přesahuje 40GPa.[1]

#### 2.1.4 Kluzné vrstvy

Do této skupiny patří „měkké“ vrstvy, které se aplikují jen v kombinaci s tvrdými vrstvami na bázi TiN, TiAlN, či TiCN a vrstvy DLC (diamond like carbon = diamantu podobný uhlík), které vhodně kombinují vynikající kluzné vlastnosti s dobrou tvrdostí. Kluzné vrstvy mají nižší tvrdost než běžné ořezavé vrstvy, proto jsou kombinovány s tvrdými vrstvami. Na trhu se objevuje více různých variant uhlíkových vrstev. Tyto varianty mají společný nízký koeficient frikce a sníženou tepelnou odolnost a tvrdost HV okolo 20GPa. Vhodně doplňují tvrdou podkladovou vrstvu při řezných aplikacích. Nejrozšířenější typy jsou MoS<sub>2</sub> a WC/C, které mají výrazně nižší tvrdost. Cílem vývoje je vytvořit vrstvy s vhodnou kombinací měkké a tvrdé složky optimální abrazivně odolnou vrstvu s velmi nízkým koeficientem frikce. Nanokompozitní vrstvy se jeví jako velmi slibné výsledky laboratorních pokusů a slibují brzký nástup těchto systémů.[1]

#### 2.1.5 Univerzální vrstva

Výrobci PVD povlaků jsou schopni připravit vrstvu pro jakékoliv aplikace. V případě povlakovaných nástrojů však kromě vhodné vrstvy hrají důležitou roli také geometrie nástroje, materiál substrátu a konečně parametry operace, např. řezné podmínky u obrábění. Pokud vzniká požadavek na optimalizaci procesů v sériové výrobě, je možné pomocí PVD vrstev dosáhnout podstatného zvýšení produktivity, kvality či ekonomiky. Přesto existuje početná skupina uživatelů, kteří nevyužívají hromadnou výrobu a jejichž nástroje musí pracovat ve velmi rozdílných podmínkách. Pro tyto uživatele je důležitější nabídka univerzální vrstvy. Za takovou univerzální vrstvu lze do určité míry považovat povlaky z oblasti nanokompozitních vrstev Ti-Al-Si-N, resp. některých vrstev Ti-Al-N, které pokrývají širokou oblast řezných aplikací s nadprůměrnými přínosy pro produktivitu, ekonomiku a kvalitu obrábění.[1]

### 3 TECHNOLOGIE APLIKACE POVLAKŮ

Pro povlakování VBD řezných a tvářecích nástrojů se používají dvě hlavní metody povlakování. CVD (Chemical Vapour Deposition), tato metoda využívá pro depozici směs chemicky reaktivních plynů (např.  $\text{TiCl}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$ ), zahřátou na poměrně vysokou teplotu 900 – 1100°C. PVD (Physical Vapour Deposition), metoda je založena na fyzikálních principech – odpaření nebo odprášení materiálů obsažených v povlaku (Ti, Al, Si, Cr, aj.), ionizaci a jejich následné nanesení na nástroj.[2]

#### 3.1 PVD technologie

Je charakteristická nízkými pracovními teplotami (pod 600°C). Tato metoda byla původně vyvinuta pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí. V současné době je ve velkém rozsahu používána i na břitové destičky z SK (slnutý karbid), určených pro přerušovaný řez. Vytváří zbytková tlaková pnutí v povlaku. Nemá nepříznivý vliv na vlastnosti podkladu a je schopna povlakovat i ostré hrany. Vyžaduje důkladnější přípravu povrchu předmětu před povlakováním. Má směrový účinek - plochy, které jsou odvráceny od místa odpařování povlakového kovu, by bez neustálého pohybu předmětu zůstaly zcela bez povlaku. Nevýhoda je tenká vrstva vytvořeného povlaku (kolem 5 $\mu\text{m}$ ).[3]



Obr. 1 Schéma PVD zařízení [10]

### **3.1.1 Klasické naprašování**

Při klasickém naprašování je terč z vodivého materiálu umístěn ve vakuové komoře a je přiveden na vysoký záporný potenciál řádově tisíc voltů. Do komory se přes jehlový ventil připouští pracovní plyn (obvykle argon) a tlak se udržuje na hodnotě řádově jednotky pascalu. Před terčem se zapálí doutnavý výboj, přičemž kladné ionty bombardují záporný terč a záporné elektrony dopadají na uzemněnou kostru komory. Těžké ionty svým dopadem rozprašují terč a rozprášené atomy se usazují na vnitřních površích. Substráty se umisťují před terč, tenká vrstva vzniká především na nich.[4]

### **3.1.2 Magnetronové naprašování**

Je to zdokonalená metoda klasického naprašování. Před terčem je vytvořeno magnetické pole definovaného tvaru elektromagnetem nebo permanentním magnetem. Takové zařízení se nazývá magnetron. Elektrony, které při klasickém naprašování unikají z prostoru před terčem, se v tomto případě v důsledku Lorentzovy síly musí pohybovat po šroubovici podél siločar. Tak se výrazně prodlužuje jejich dráha v blízkosti terče. Prodlužuje se i doba jejich setrvání v oblasti výboje a zvyšuje se pravděpodobnost ionizace dalších atomů pracovního plynu. To umožňuje udržet výboj při nižším tlaku řádově desetiny pascalu a při nižším napětí řádově desítky voltů. Zejména nižší tlak se pozitivně projevuje v čistotě nanesené vrstvy.

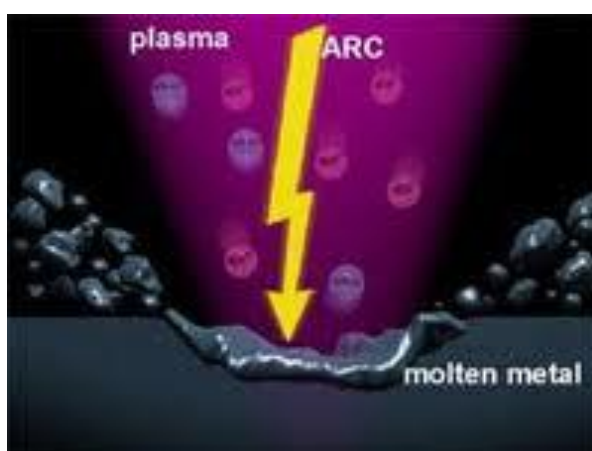
Jestliže se s pracovním plynem přivádí do vakuové komory reaktivní příměs, např. kyslík, dusík, apod., je možné vytvářet oxidy, nitridy atd. rozprašovaného materiálu. V tom případě jde o reaktivní magnetronové naprašování.

Hlavními výhodami naprašování je jednoduchá depozice i z těžkovatelných materiálů, ve vytvářené vrstvě se zachovává složení slinového terče ve stejném poměru jednotlivých složek a je možná homogenní depozice vrstev i na větších plochách.[4]

### **3.1.3 Technologie nízkonapětového oblouku**

Odpařování pomocí nízkonapětového oblouku patří v oblasti povlakování řezných a tvářecích nástrojů k metodám nejfrekventovanějším. Nízkonapětový oblouk je výhodný pro svoji relativně vysokou rychlost odpařování materiálu elektrod a současnou vysokou

ionizaci plazmatu. V průmyslovém měřítku se obloukové technologie řadí k technologiím poměrně časově nenáročným. Procesy probíhají v řádu několika málo hodin. Díky vysoké ionizaci plazmatu je možnost přípravy povlaků a struktur běžně se v přírodě nevyskytujících. Oblouk hoří na povrchu katody. V místě katodové skvrny o průměru řádově 10  $\mu\text{m}$  dosahuje teploty okolo 15 000°C. Schéma katodové skvrny je zobrazeno na obr. 2. Za těchto podmínek je možné odpařit prakticky každý elektricky vodivý materiál. Obloukem je odpařován materiál z elektrod a zároveň je jím i ionizován. Ionizovaný materiál je urychlovaný směrem k nástrojům se záporným předpětím. Cestou ionizují ještě atomy plynné atmosféry (např.  $\text{N}_2$ , Ar).[2]



*Obr. 2 Schéma katodové skvrny [10]*

### 3.2 CVD technologie

Probíhá za vysokých teplot (nad 1000°C). Tato metoda byla až do začátku 90. let hlavní metodou povlakování slinutých karbidů. Výhoda je výborná adheze mezi podkladem a povlakem. Možnost nanesení větší tloušťky vrstvy (10-13  $\mu\text{m}$ ). Povlakování předmětů složitějších tvarů a variabilita typů povlaků. Nevýhodou je ovlivnění podkladového materiálu (snížení ohybové pevnosti) a tahová zbytková pnutí v povlaku, nemožnost povlakovat ostré hrany.[3]

### 3.2.1 Plazmaticky aktivovaná CVD metoda

Zásadní kvalitativní změnu v technologii vytváření tenkých oteruvzdorných vrstev přinesla tzv. plazmaticky aktivovaná CVD metoda (označovaná PCVD, PACVD – Plasma CVD, PECVD – Plasma Enhanced CVD, MWPCVD – Micro Wave Plasma CVD). Tato metoda se liší od klasické CVD metody nižšími pracovními teplotami okolo 600°C, podle některých údajů 480 – 560°C. Metoda PACVD je založena na zvýšení energie plynné atmosféry pomocí její ionizace a aktivace v plazmatickém výboji. Plazmu lze vytvořit pomocí vnějšího elektrického napájecího zdroje nebo reaktivním plynem (např.  $\text{NH}_3$ ). U elektrického napájení je za nejvýhodnější považována pulzní metoda, u které je vysoké stejnosměrné napětí přiváděno na katodu ve formě pečlivě řízeného sledu pulzů. Pulzy zapálí plazmu, aniž by došlo ke vzniku elektrických oblouků. V důsledku možnosti řídit pulzy, jejich délky a přestávky mezi nimi lze užít takové napětí, které postačuje pro vytvoření povlaků s požadovanými parametry. Nedochází rovněž k vysokému ohřevu substrátu.[3]

### 3.2.2 Middle Temperature CVD metoda

Další metodou, která je založena na snížení vysoké pracovní teploty je metoda MTCVD. Na rozdíl od konvenční metody CVD umožňuje tato technologie nanášet povlaky z plynné fáze za nižších teplot (700 – 580°C). Zatímco u metody CVD je používán plynný metan  $\text{CH}_4$  (zdroj uhlíku) a čistý dusík, metoda MTCVD využívá jako vstupní sloučeninu acetonitril ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) nebo vysoce toxický a hořlavý metylkyanid. Zdrojem titanu je u obou metod chlorid titaničitý ( $\text{TiCl}_4$ ). Rychlost růstu vrstvy TiCN je až třikrát větší než u klasické metody CVD. Podkladový slinutý karbid se díky vysoké reaktivitě systému  $\text{TiCl}_4 - \text{CH}_3\text{CN}$  nepodílí na ovlivňování povlaku – difuze uhlíku z podkladu do povlaku je zanedbatelná. Tímto je prakticky vyloučen vznik křehkého *eta*-karbidu mezi podkladem a povlakem. Hlavní výhodou metody MTCVD je, že v důsledku nižší reakční teploty nedochází k poklesu houževnatosti podkladového materiálu. Břítové destičky jsou odolnější vůči mechanickým rázům a mohou být použity při vyšších hodnotách posuvových rychlostí. Lze vyrábět břítové destičky s většími kladnými úhly čela bez rizika, že by při jejich použití v přerušovaném řezu docházelo k vylamování ostří.[3]



## 4 VLASTNOSTI POVLAKŮ

### 4.1 Tvrdost

Je to odolnost povrchových oblastí materiálu (povlaku) proti porušení cizím tělesem. Tvrdost není fyzikálně definovatelná vlastnost, ale je to výslednice celé řady vlastností povrchu daného materiálu.

#### Zkouška podle Brinella

Podstatou zkoušky je zatlačování kalené kuličky o průměru  $D$  konstantním zatížením do leštěného povrchu zkoušeného materiálu. Výsledná tvrdost je pak vyjádřena vztahem  $HB=F/S$ . Při měření je nutno dodržovat zkušební podmínky z důvodu srovnatelnosti naměřených hodnot. Velikost zatížení se volí s ohledem na průměr použité kuličky a měřený materiál.

Průměry kuliček: 10; 5; 2,5; 1,25; 0,625.

Tab. 1 Přehled materiálů a jejich tvrdosti dle Brinella

K	Tvrdost HB	Analyzovaný materiál
30	96-600	Oceli (96-650HB), litiny a slitiny niklu, titan atd. (>140HB) Měď a její slitiny (>200HB)
15	50-325	Měď a její slitiny (50-300HB) slitiny lehkých kovů a ložiskové slitiny (>50HB)
10	32-200	Litiny, slitiny niklu, titanu, kobaltu apod. (>140HB), měď a její slitiny (35-200HB), slitiny lehkých kovů a jejich slitiny (>80HB)
5	16-100	Měď a její slitiny (<35HB), lehké kovy a jejich slitiny, ložiskové kompozice (35-80HB)
2,5	8-50	Lehké kovy a jejich slitiny, ložiskové kompozice (<35HB)
1,25	4-25 3,2-20	Cín, olovo, ložiskové kompozice a jiné slitiny (<20HB)

---

Zkouška podle Rockwella

Rockwellova zkouška je založena na principu vnikání diamantového kužele s vrcholovým úhlem  $120^\circ$  se zaobleným poloměrem 0,2 mm. Při provedení zkoušky není nutno mít upravený povrch. Hloubka vtisku se měří, tak že hloubkoměr je nastaven na nulu při zatížení 98 N. Poté se zatíží hlavní silou, po odlehčení na původních 98N se odečte hloubka vtisku. Metodu HRC lze použít podle normy od minimální tvrdosti od HRC 20.

Zkouška podle Vickerse

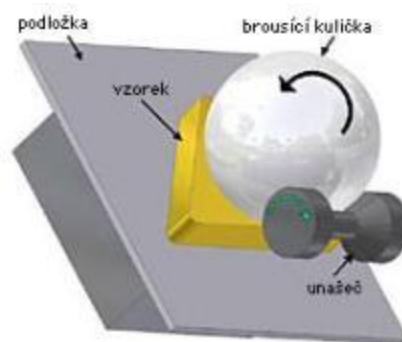
Indentorem u této zkoušky je čtyřboký diamantový jehlan s vrcholovým úhlem stěn  $136^\circ$ . Do zkoušeného materiálu tedy vnikají pravidelné čtyřhranné vtisky. Úhel vrcholu je volen tak, aby tření co nejméně ovlivnilo výsledek a také aby bylo možné výsledky porovnat se zkouškou podle Brinella. Tvrdost je vyjádřena vztahem  $HV = 0,189 F/u^2$ . Obvyklá zatížení dle normy jsou 9,8; 29,4; 49; 98; 294 a 490N.

#### **4.2 Mikrotvrdost**

Zkoušky mikrotvrdosti jsou prováděny při zcela malých zatížení v řádu desítek mN (milinewton), aby vtisky byly nepatrných velikostí. Hranice mezi makro a mikrotvrdostí se uvádí 19,8N. U běžných PVD vrstev se tloušťka povlaků pohybuje v mikrometrech. Proto je třeba při měření mikrotvrdosti zajistit, aby měřící hrot proniknul maximálně do 1/10 tloušťky povlaku. Takto se zabrání, že měření tvrdosti vrchní vrstvy není ovlivněno podkladovým materiálem. Pro zkoušky mikrotvrdosti lze použít jen vnikací metody s diamantovým indentorem. Měření vytvořených vtisků se provádí speciálními přístroji – mikrotvrdoměry (založené na principu Vickersovi metody), které souběžně při zatěžování hrotu měří hloubku pronikání do vrstvy s přesností na jednotky nm. Tvrdost vrstvy se uvádí v GPa.[5]

### 4.3 Tloušťka vrstvy

Tloušťka povlaku ovlivňuje trvanlivost nástroje a řezné síly při obrábění. Tloušťka povlaku musí být vhodně zvolena pro předpokládané použití nástroje. Optimální vrstva na závitníky je 1 až 2  $\mu\text{m}$  a pro odvalovací frézy je tloušťka na břitu nástroje i 8  $\mu\text{m}$ . Tloušťka vrstvy na břitu nástroje je odlišná od tloušťky na rovných nebo válcových plochách a na celém povrchu je nerovnoměrná. Pro měření tloušťky v současné době neexistuje nedestruktivní zkouška. Pro měření tloušťky na rovinných částech nástroje je tzv. kalotester obr. 3. Princip měření spočívá v odbroušení části povlaku pomocí brousící kuličky. Tímto vznikne kulový vrchlík, který se pomocí mikroskopu změří a z průměru brousící kuličky a naměřeného vrchlíku se vypočítá tloušťka nanesené vrstvy. Tloušťka na břitech nástroje se provádí pomocí běžné metalografie založené na leštění vybrané části.[6]

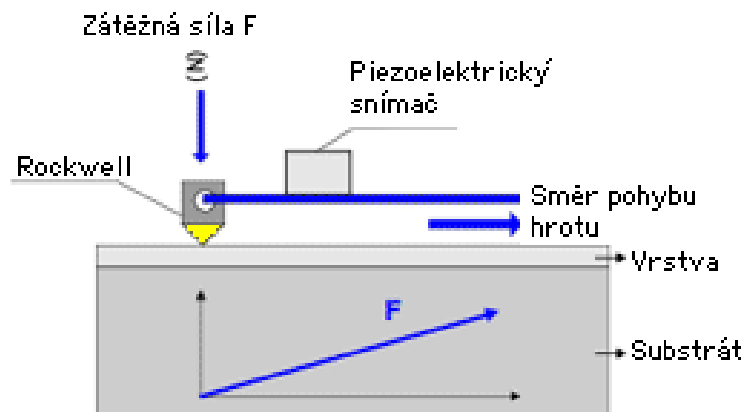


Obr. 3 Schematické znázornění měření tloušťky povlaku pomocí kalotestru [11]

### 4.4 Adheze

Jedná se o přilnavost povlaku k substrátu. K využití maximální otěruvzdornosti vrstvy dojde, je – li zajištěna její adheze k nástroji. To je ovlivněno přípravou nástroje před povlakováním tj. jeho důkladné očištění od nečistot různého druhu. Metoda vyhodnocení přilnavosti povlaku je tzv. scratch-test obr. 4. Tato metoda pracuje na principu postupně se zvyšující zátěže na Rockwellův diamantový hrot při současném posouvání hrotu po měřeném povlaku. Zátěžová síla se pohybuje od 20 do 120 N. Po dosažení maximální zátěžové síly dojde k odtržení povlaku od substrátu. Tento jev je doprovázen skokovým zvýšením hodnoty akustické emise. Při měření je možno detekovat akustickou emisi na

hrotu. Další metodou měření adheze je pomocí mikroskopu. Na stopě vytvořené hrotem se odečte místo, kde došlo k odtržení povlaku. Kritickou hodnotu zátěže pak lze určit z lineární závislosti dráhy na zátěži. Pokud je hodnota adheze větší než 60 N, nedojde k odtržení povlaku od substrátu při běžných aplikacích.[6]



Obr. 4 Schematické znázornění metody vyhodnocení přilnavosti tzv. scratch-test [11]

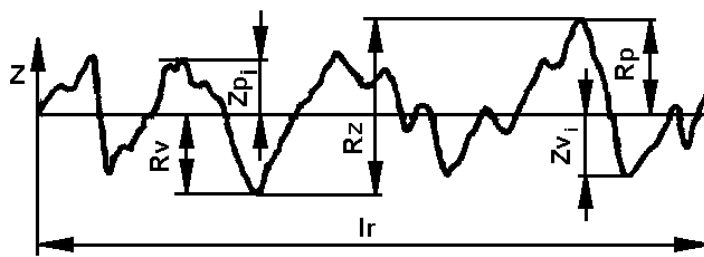
#### 4.5 Drsnost

Drsnost povlaku je ovlivněna, jak povrchem nástroje po opracování a nečistotami na substrátu, tak samotným povlakem. Při měření drsnosti se neuvažují vady povlakovaného materiálu, jako jsou drobné trhlinky, důlky nebo rysky, které vznikají v důsledku vad materiálu nebo jeho poškození. Drsnost povlaku je způsobena mikročásticemi, které vznikají během technologického procesu při povlakování. Velká drsnost povlaku je nežádoucí jev. Zvyšuje řezné síly, a tím dochází k tepelnému a mechanickému namáhání břitu nástroje. Tento jev výrobci minimalizují úpravou technologie povlakování nástrojů. Případně se nástroje po povlakování dodatečně upravují leštěním. [6]

Struktura povrchu je členěna na jednotlivé složky podle rozteče příslušných nerovností. Jde o složku s nejmenší roztečí tvořící drsnost povrchu, dále složku nazvanou vlnitost a složku s největší roztečí nerovnosti určenou základním profilem. [7]

Norma ČSN EN ISO4287 definuje tyto geometrické parametry:

- **R** drsnost povrchu
- **W** vlnitost povrchu
- **P** základní profil



Obr. 5 Parametry  $R_v$ ,  $R_p$ ,  $R_z$  [7]

#### 4.6 Odolnost vůči oxidaci

Korozi lze charakterizovat jako samovolné, postupné a nevratné znehodnocení materiálu a to chemickým nebo fyzikálně chemickým působením vnějšího prostředí. Toto porušení se může projevovat jako změna vzhledu materiálu nebo jeho úplný rozpad.

**Korozi lze rozdělit na dva základní druhy:**

- Chemická
- Elektrochemická

##### Chemická koroze

Probíhá v nevodivém prostředí. Jedná se o samovolnou interakci kovu s prostředím. Její příčinou je termodynamická nestálost kovů v různých prostředích. Nejvíce rozšířená koroze je v plynech za vyšších teplot. Ke korozi dochází v prostředích obsahující kyslík, oxidy uhlíku, síry nebo i v dusíku.

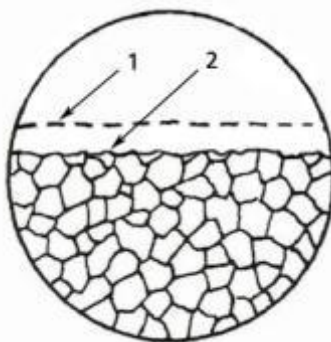
##### Elektrochemická koroze

Probíhá v elektricky vodivém prostředí – elektrolyt. Nejčastěji je to voda, půda, vlhká atmosféra. Korodující kov představuje anodu, na níž probíhá oxidace, ta vysílá do roztoku kladně nabitě kationty. Na anodě při této reakci se hromadí elektrony. Ty nemohou samy vstoupit do elektrolytu a proto má anoda záporný potenciál. Kovovým spojením tyto elektrony proudí ke katodě, kde způsobují redukci oxidačního činidla neboli depolarizátoru.

## Druhy korozního napadení

### Rovnoměrná koroze

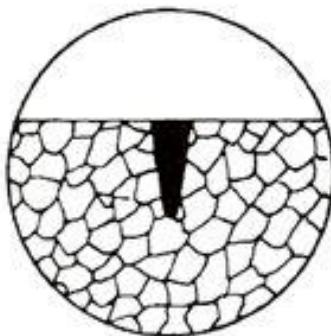
Rovnoměrná koroze způsobuje stejnoměrné rozpouštění na celém povrchu obr. 6. Lze ji vyjádřit jako hmotnostní ztrátu materiálu, nebo úbytek tloušťky. Korozní napadení se zjistí ze změny profilu, změřením materiálu před korozní zkouškou a po ní. Určení koroze vyplyne jednoznačně z úbytku hmotnosti a rozměrů. Rovnoměrné korozi podléhají kovy bez jakékoli povrchové úpravy (nátěry).



*Obr. 6 Rovnoměrná koroze, 1 – původní povrch, 2 – povrch po napadení koroze [8]*

### Bodová koroze

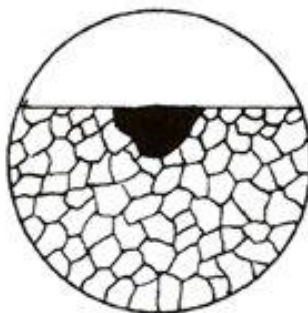
Bodová koroze vzniká u materiálů odolných vůči rovnoměrné korozi. Jedná se o zvláště nebezpečný druh koroze. Dochází k malému úbytku hmotnosti materiálu. Tato koroze proniká do velké hloubky materiálu, která je podstatně větší než průměr tohoto bodového napadení obr. 7.



*Obr. 7 Bodová koroze [7]*

Důlková koroze

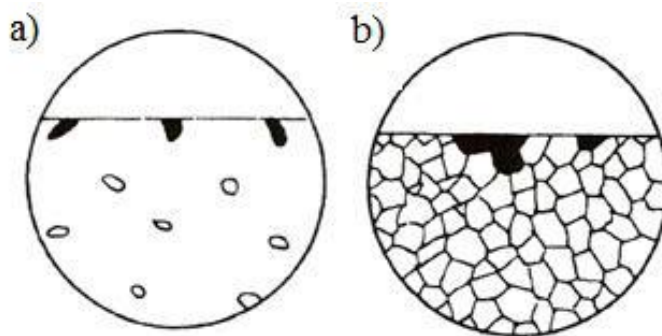
Vzniká jako bodová koroze v místě lokálního porušení ochranné vrstvy. Hloubka napadení korozí je přibližně stejná její šířce. Schematické znázornění důlkové koroze je na obr. 8.



*Obr. 8 Schéma důlkové koroze [8]*

Selektivní napadení

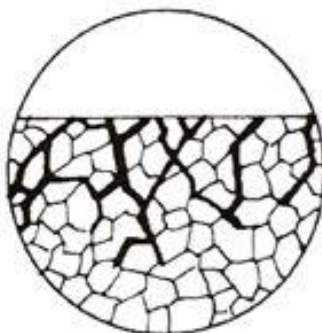
Selektivní napadení se vyskytuje u slitin s dvou a vícefázovou strukturou. Projevuje se napadením pouze jedné fáze obr. 9 a). Selektivní napadení vzniká, pokud je ve struktuře napadené fáze jen malé množství. Tvar koroze je závislý na založení korozní fáze ve struktuře materiálu. Také může dojít k napadení pouze některých zrn jednofázové struktury obr. 9 b), nebo pásma tvořeného vměstky.



*Obr. 9 Schéma selektivní koroze a) napadena jedna fáze vícefázové struktury, b) napadení jednotlivých zrn jednofázové struktury [8]*

### Mezikrystalová koroze

Koroze vzniká, když napadení hranic zrn je rychlejší než napadení samotných zrn. Mezikrystalová koroze způsobuje zhoršení mechanických vlastností materiálu. Koroze může probíhat na hranici všech zrn nebo jen některých. Napadení může být plošně omezeno a vytvářet shluky vlivem nehomogenity prostředí, nebo vlivem odlišnosti vlastností hranic zrn. Schématické znázornění tohoto druhu napadení je zobrazeno na obr. 10.



*Obr. 10 Schéma mezikrystalové koroze [8]*

### Korozní praskání

Vzniká při současném působení koroze a mechanických vlivů. Korozní napadení může být intenzivnější než při odděleném působení. Vznik tohoto napadení je závislé na typu korozního prostředí, na teplotě a velikosti faktoru intenzity napětí.

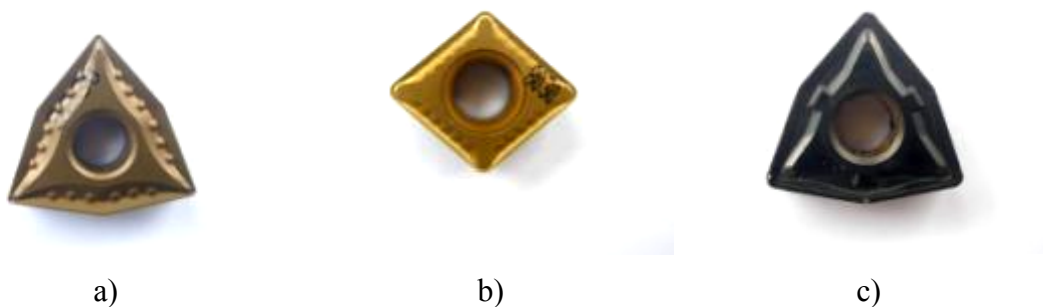
### Korozní únava

Korozní únava vzniká, pokud je materiál vystaven současně střídavému namáhání a koroznímu prostředí. Průřez materiálu se vlivem koroze stále zmenšuje. Korozní únavu lze vysvětlit na základě účinků vrubů vyvolaných korozí a obecně energetickými procesy na povrchu kovu za koroze.[8]



## 5 NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Jako experimentální materiál byly použity tři druhy vyměnitelných břitových destiček s blíže nespecifikovatelnými povlaky, označené 9230, 8030, 6615. Použité vzorky jsou zobrazeny na obr. 11.



*Obr. 11 Vzorky pro experimentální práci – vyměnitelné břitové destičky a) 9230, b) 8030, c) 6615*

**Na VBD byly provedeny tyto experimentální zkoušky:**

- chemická analýza povlaků pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu (SEM)
- chemická analýza podkladového materiálu (SEM)
- drsnost povlaků dle ČSN EN ISO 4287, měření na funkčních plochách břitových destiček, drsnoměr Mitutoyo Surftest – 301
- studium fázového rozhraní podkladový materiál – povlak
- měření tloušťek vrstev povlaků
- korozní zkouška odolnosti dle ČSN EN ISO 9227

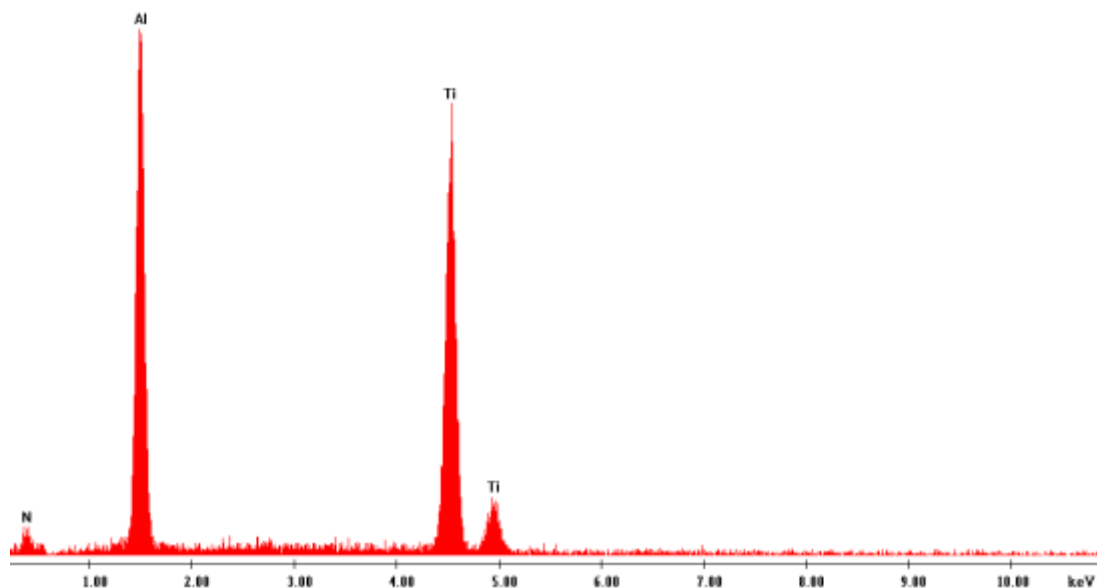
## 6 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

### 6.1 Chemická analýza povlaků

Vzorky použité pro experimentální měření jsou vyměnitelné břitové destičky. Povlaky na těchto destičkách však nebyly známy, proto byla provedena chemická analýza těchto povlaků, označených 9230, 8030, 6615.

Chemické složení povlaků se zjišťovalo na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30. Přístroj je určený k porovnávání povrchů nejrozličnějších objektů. Výsledný obraz je tvořen pomocí sekundárního signálu – odražených nebo sekundárních elektronů. V porovnání se světelným mikroskopem je velkou předností SEM značná hloubka ostrosti v důsledku, které lze z dvojrozměrných fotografií nalézt jistý trojrozměrný aspekt. Další předností tohoto mikroskopu je, že při interakci urychlených elektronů s povrchem vznikají tzv. Augerovy elektrony, které nesou mnoho dalších informací o vzorku. Při jejich detekci je možné určit např. chemické složení v místě zkoumání a při porovnání s vhodným standardem lze určit i kvantitativní zastoupení jednotlivých prvků. [9]

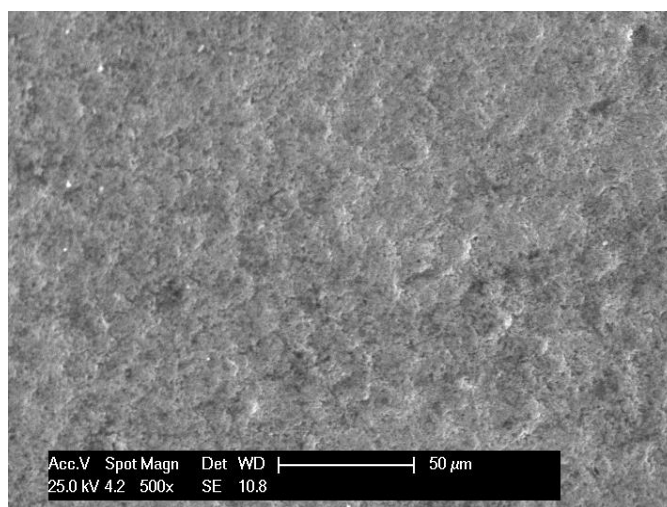
Chemická analýza byla provedena v centru nanotechnologií se sídlem na VŠB – TU Ostrava.

**Chemický rozbor povlaku 9230.**

*Obr. 12 Chemický rozbor povlaku břitové destičky označené 9230*

Tab. 2 Chemický rozbor povlaku 9230

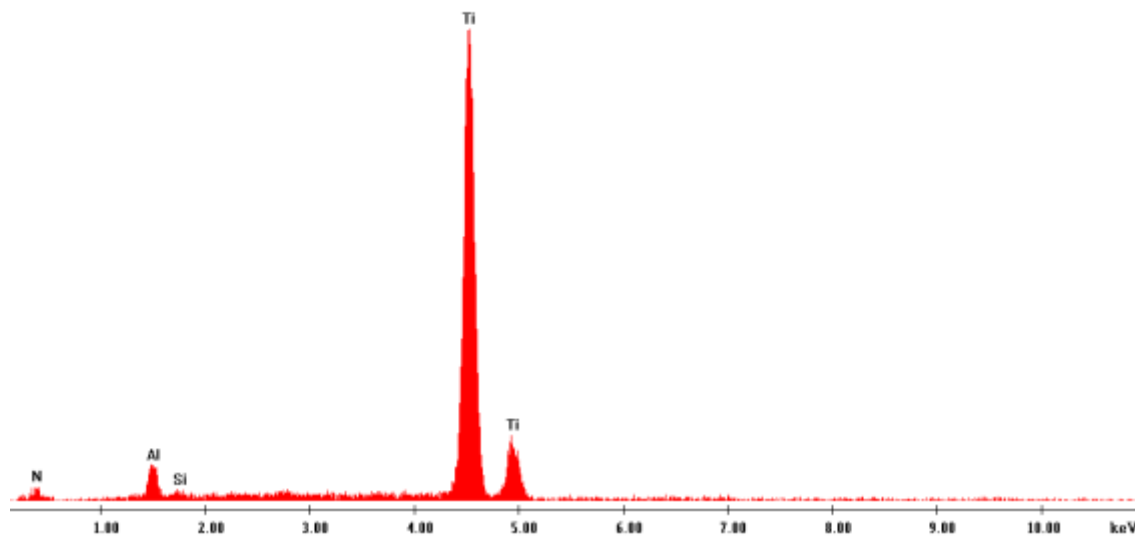
Chemický rozbor povlaku břitové destičky 9230	
Prvek	Wt[%]
N	24,84
Al	35,82
Ti	39,33



*Obr. 13 Fotodokumentace mikroskopie povlaku 9230  
(foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 500x)*

Výsledek chemického rozboru povlaku 9230 ukázal přítomnost Ti, Al a N, lze tedy určit typ povlaku. Podle složení a množství chemických prvků jde o povlak TiAlN. Poměr mezi složkami Ti a Al je cca 50:50.

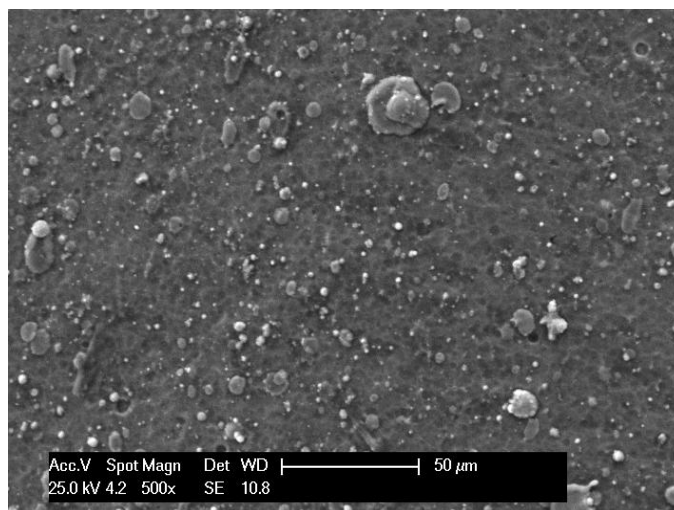
#### Chemický rozbor povlaku 8030.



Obr. 14 Chemický rozbor povlaku břitové destičky označené 8030

Tab. 3 Chemický rozbor povlaku 8030

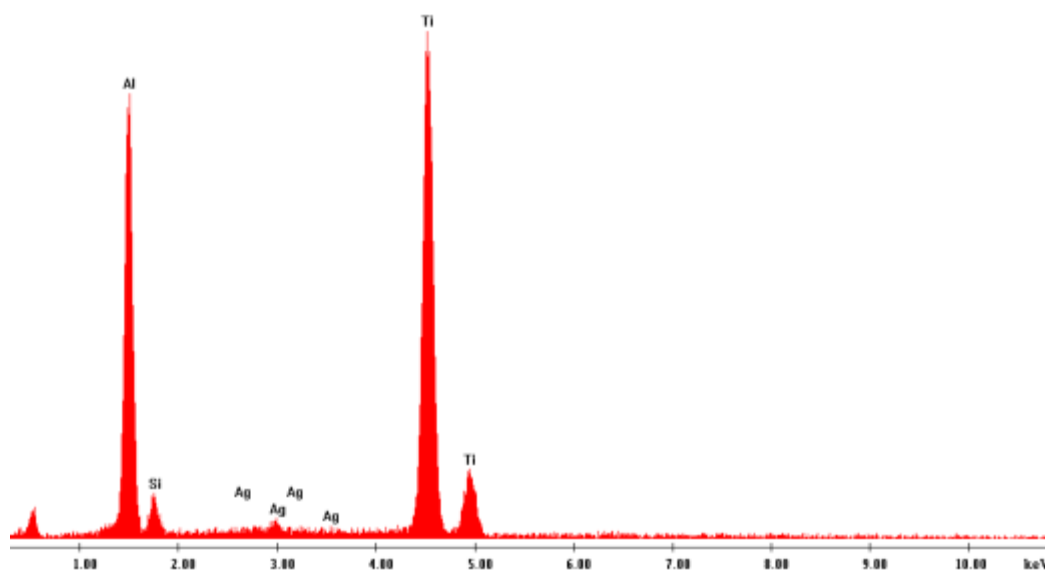
Chemický rozbor povlaku břitové destičky 8030	
Prvek	Wt[%]
N	15,13
Al	5,93
Si	0,92
Ti	78,02



*Obr. 15 Fotodokumentace mikroskopie povlaku 8030  
(foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 500x)*

Výsledek chemického rozboru povlaku 8030 ukázal navíc přítomnost Si oproti předcházejícímu povlaku i množství zjištěných prvků se značně liší. Tento povlak obsahuje větší množství Ti než Al. Přídavného prvku Si je velmi malé procento. V tomto případě se jedná o povlak TiAlSiN. Povlak obsahuje nanočástice Si, je tedy tvořen z nanokompozitních vrstev. Přítomnost Si zajišťuje větší tvrdost povlaku.

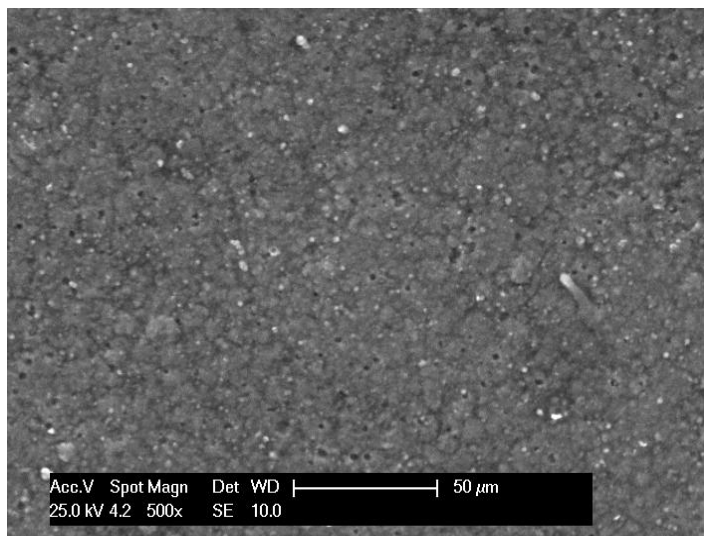
#### **Chemický rozbor povlaku 6615.**



*Obr.16 Chemický rozbor povlaku břitové destičky označené 6615*

Tab. 4 Chemický rozbor povlaku 6615

Chemický rozbor povlaku břitové destičky 6615	
Prvek	Wt[%]
Al	36,85
Si	4,35
Ag	2,43
Ti	56,36
N	10,58



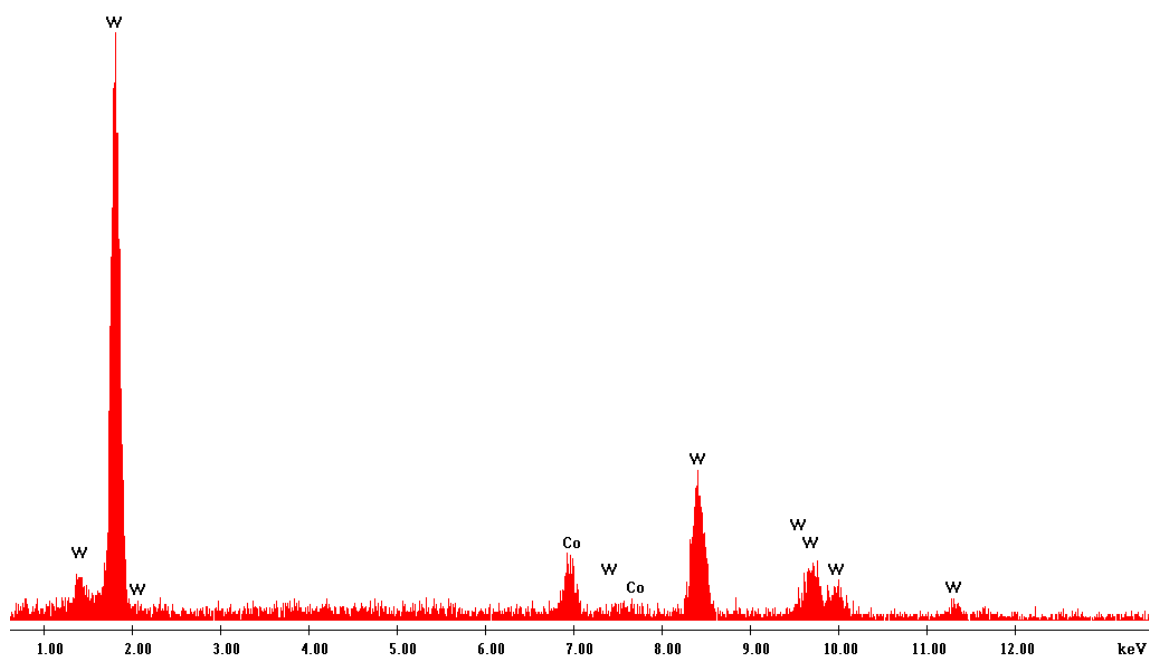
*Obr. 17 Fotodokumentace mikroskopie povlaku 6615  
(foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 500x)*

Výsledek chemického rozboru povlaku 6615 ukázal přítomnost Si a malé procento Ag. Lze tedy určit, že se jedná o povlak TiAlSiAgN.

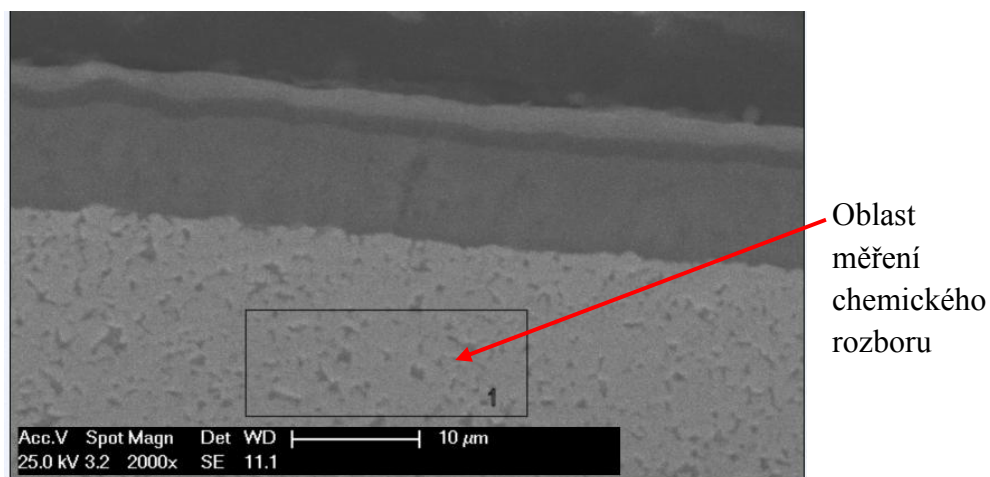
## 6.2 Chemická analýza podkladového materiálu (matrice).

Chemická analýza byla provedena v centru nanotechnologií se sídlem na VŠB – TU Ostrava.

### Chemický rozbor podkladového materiálu povlaku 9230



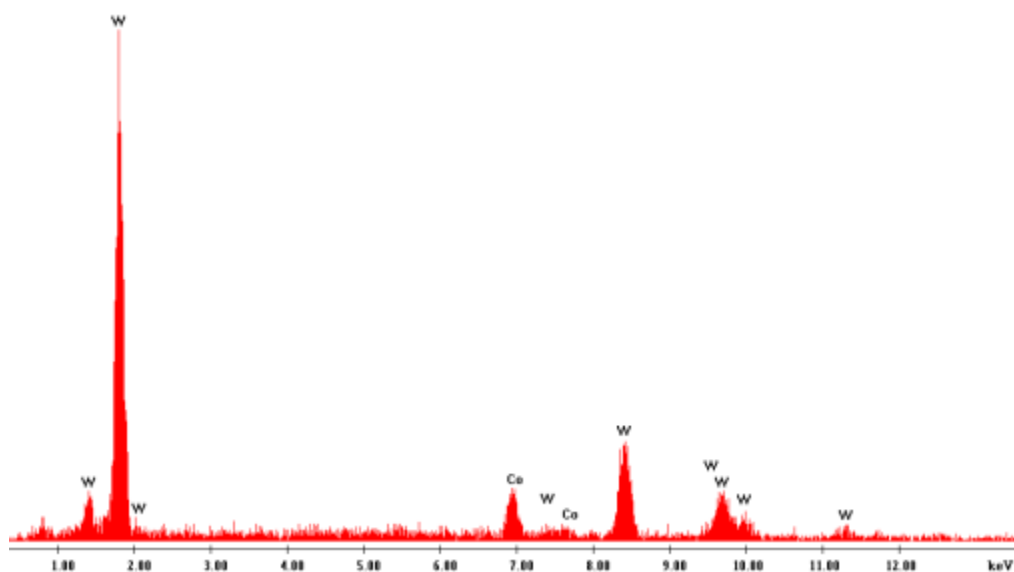
Obr. 18 Chemický rozbor podkladového materiálu břitové destičky s povlakem 9230



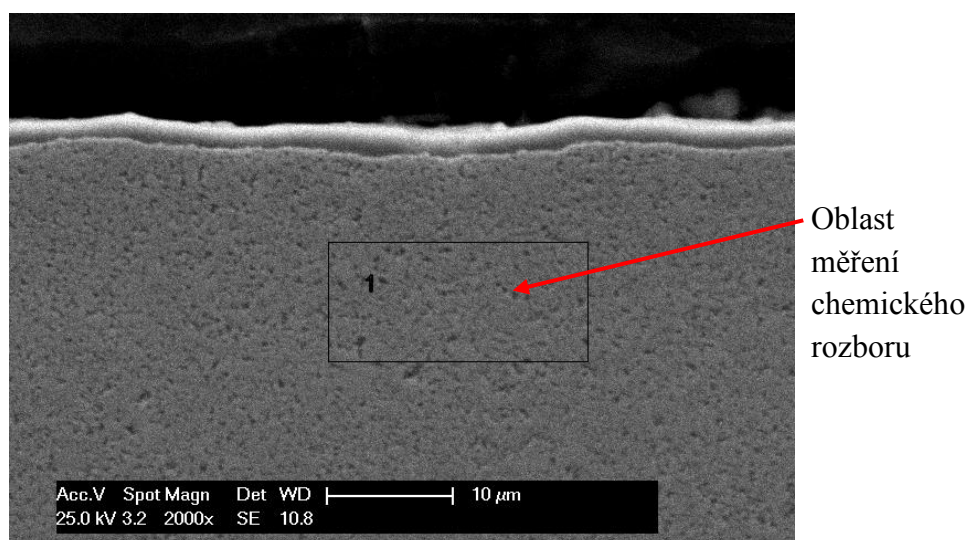
Obr. 19 Fotodokumentace mikroskopie podkladového materiálu povlaku 9230  
(foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 2000x)

Tab. 5 Chemický rozbor podkladového materiálu povlaku 9230

Chemický rozbor podkladového materiálu povlaku 9230	
Prvek	Wt[%]
Co	9,13
W	90,87

**Chemický rozbor podkladového materiálu povlaku 8030**

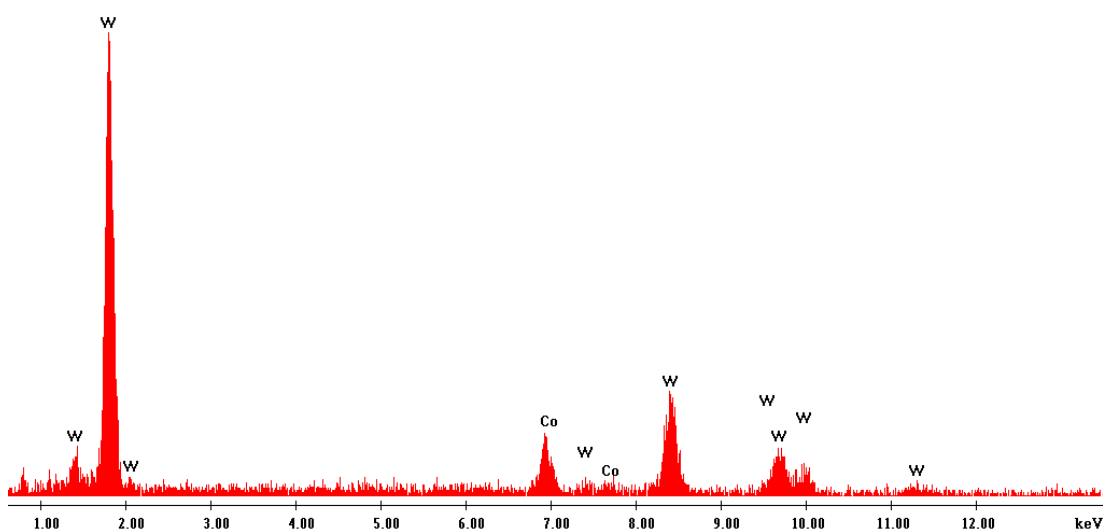
Obr. 20 Chemický rozbor podkladového materiálu břitové destičky s povlakem 8030

Obr. 21 Fotodokumentace mikroskopie podkladového materiálu povlaku 8030  
(foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 2000x)

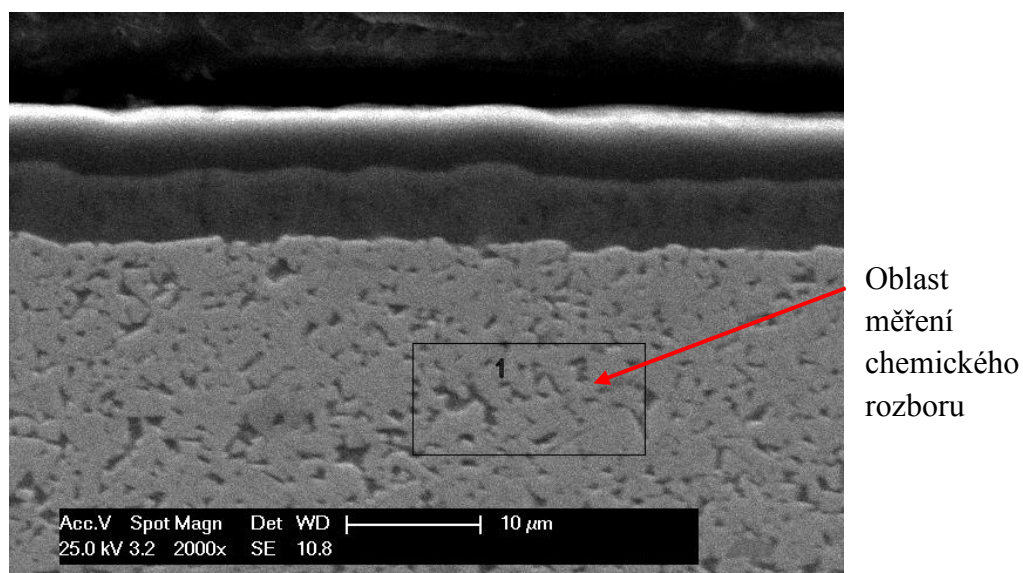


Tab. 6 Chemický rozbor podkladového materiálu povlaku 8030

Chemický rozbor podkladového materiálu povlaku 8030	
Prvek	Wt[%]
Co	10,44
W	89,59

**Chemický rozbor podkladového materiálu povlaku 6615**

Obr. Chemický rozbor podkladového materiálu břitové destičky s povlakem 6615



Obr. 22 Fotodokumentace mikroskopie podkladového materiálu povlaku 6615  
(foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 2000x)

Tab. 7 Chemický rozbor podkladového materiálu povlaku 6615

Chemický rozbor podkladového materiálu povlaku 6615	
Prvek	Wt[%]
Co	11,37
W	88,63

Z měření chemické analýzy podkladového materiálu bylo zjištěno, že u všech tří povlaků je stejný podkladový materiál. Jedná se o řeznou slitinu *stelit*, její hlavní složkou je kobalt, dále obsahuje chrom a wolfram. Ve všech případech bylo naměřeno složení jednotlivých prvků cca 10% Co a 90% W. Měření bylo provedeno v oblasti, která je vyznačena na obrázku fotodokumentace mikroskopie podkladového materiálu.

### 6.3 Měření drsnosti dle ČSN EN ISO 4287

Tato mezinárodní norma vymezuje termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu profilovou metodou.[12] Struktura povrchu je členěna na jednotlivé složky podle rozteče příslušných nerovností. Jde o složku s nejmenší roztečí tvořící drsnost povrchu, dále složku nazvanou vlnitost a složku s největší roztečí nerovnosti určenou základním profilem.

- **R** drsnost povrchu
- **W** vlnitost povrchu
- **P** základní profil

Profil drsnosti je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti. Je odvozený od základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu  $\lambda_c$ . Měření parametrů drsnosti vzorku bylo provedeno přístrojem Mitutoyo Surftest – 301. Profil povrchu materiálu je získán dotykovou metodou pomocí snímacího hrotu přístroje.

Drsnost povrchu charakterizují jednotlivé parametry drsnosti:[7]

- $R_a$  – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- $R_z$  – maximální výška profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- $R_q$  – kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- $R_p$  – největší výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- $R_v$  – největší hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- $R_{sk}$  – šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie) [-],
- $R_{ku}$  – špičatost posuzovaného profilu [-],
- $R_{lo}$  – rozvinutá délka profilu [mm].

Drsnost povlaků byla měřena na funkčních plochách břitových destiček obr. 23. Měřicí přístroj je zobrazen na obr. 24.



*Obr. 23 Měřené funkční plochy břitových destiček*

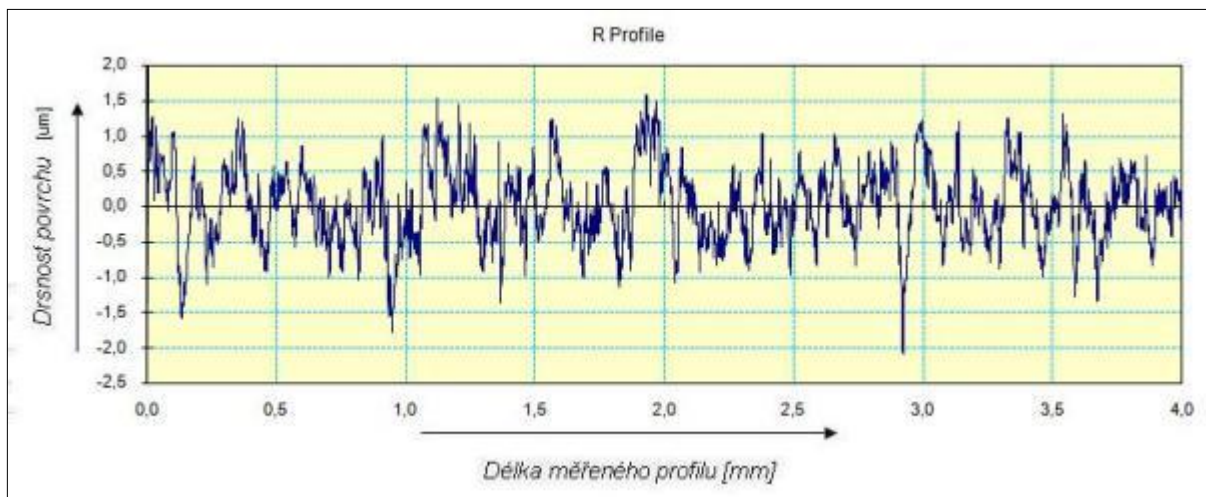


Obr. 24 Přenosný drsnoměr Mitutoyo SJ – 301 pro měření drsnosti povrchu materiálu

### Měření drsnosti povlaku 8030

Tab. 8 Nastavení drsnoměru Mitutoyo SurfTest SJ-301 pro povlak 8030

Work	Measurin	Standard	Profile	Range
Sample	SurfTest SJ-301	ISO 1997	R	Auto
Operator	Commment	N	$\lambda c$	Filter
Mitutoyo	Ver 2.1	5	0,8 mm	GAUSS



Obr. 25 Grafický záznam profilu drsnosti povlaku 8030 z přístroje Mitutoyo SurfTest SJ-301

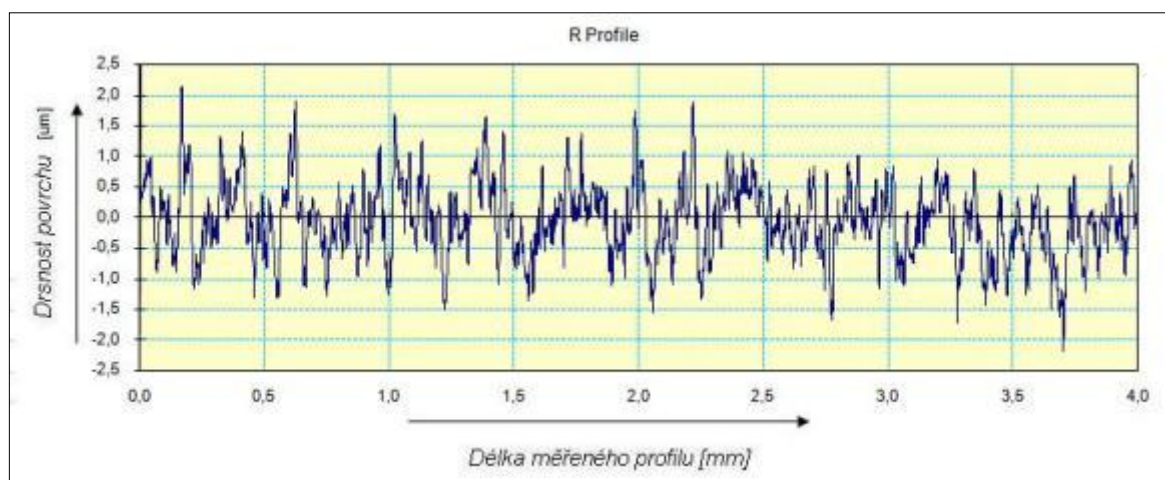
Tab. 9 Hodnoty naměřené drsnoměrem Mitutoyo Surftest SJ 301 povlaku 8030

Počet měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	0,42	3,92	0,56	2,24	1,69	0,52	4,60	0,811
2	0,49	3,93	1,06	2,40	1,53	0,91	4,57	0,852
3	0,43	3,70	0,56	2,35	1,35	0,80	7,72	0,810
4	0,39	2,80	0,49	1,45	1,35	0,24	3,40	0,808
5	0,40	2,73	0,49	1,36	1,36	-0,11	2,72	0,809
6	0,44	3,45	0,49	2,02	1,43	0,32	3,60	0,807
7	0,45	3,44	0,58	2,00	1,45	0,29	3,58	0,806
8	0,46	3,22	0,61	1,89	1,33	0,45	3,54	0,808
9	0,38	2,78	0,48	1,34	1,44	-0,04	3,09	0,808
10	0,43	2,97	0,54	1,38	1,59	0,09	3,06	0,807
min	0,38	2,73	0,48	1,34	1,33	-0,11	2,72	0,806
max	0,49	3,93	1,06	2,40	1,69	0,91	7,72	0,852
průměrné hodnoty	0,43	3,294	0,586	1,843	1,452	0,347	3,988	0,8126

## Měření drsnosti povlaku 9230

Tab. 10 Nastavení drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-301 pro povlak 9230

Work	Measurin	Standard	Profile	Range
Sample	SurfTest SJ-301	ISO 1997	R	Auto
Operator	Comment	N	λc	Filter
Mitutoyo	Ver 2.1	5	0,8 mm	GAUSS



Obr. 26 Grafický záznam profilu drsnosti povlaku 9230 z přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301

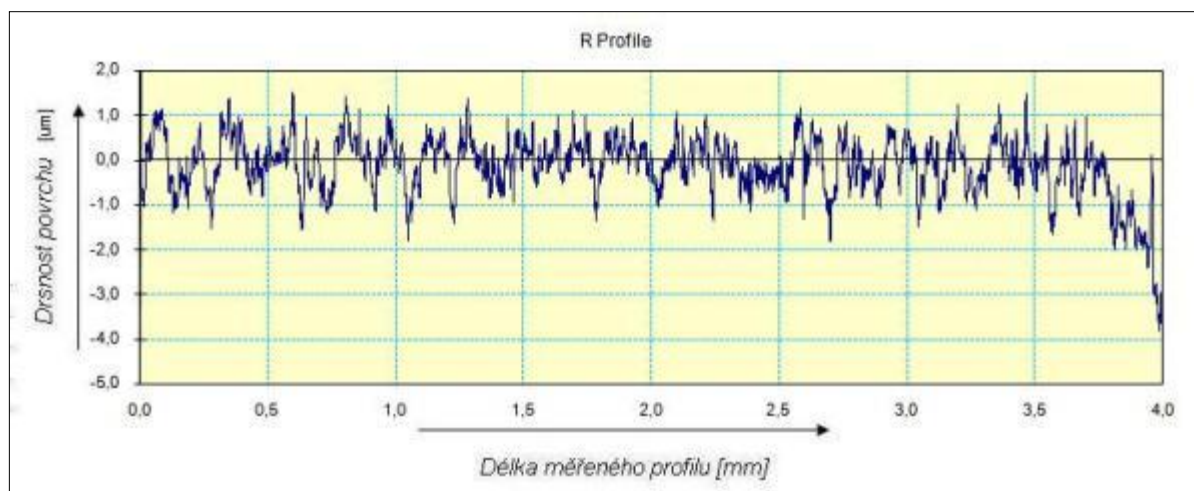
Tab. 11 Hodnoty naměřené drsnoměrem Mitutoyo Surftest SJ-301 povlaku 9230

Počet měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	0,51	3,47	0,64	1,66	1,79	-0,11	2,85	0,806
2	0,55	3,83	0,69	1,84	1,99	-0,09	3,05	0,807
3	0,50	3,51	0,64	1,76	1,79	-0,05	3,31	0,807
4	0,53	3,80	0,66	2,13	1,68	0,18	3,28	0,807
5	0,47	3,69	0,60	1,88	1,81	0,30	4,39	0,806
6	0,44	3,50	0,57	1,96	1,54	0,31	3,53	0,806
7	0,43	3,04	0,55	1,39	1,64	-0,37	3,13	0,806
8	0,43	2,81	0,53	1,33	1,48	-0,39	2,77	0,806
9	0,53	3,28	0,65	1,57	1,71	-0,26	2,77	0,806
10	0,47	3,18	0,6	1,53	1,65	-0,18	3,09	0,806
min	0,43	2,81	0,53	1,33	1,48	-0,39	2,77	0,806
max	0,55	3,83	0,69	2,13	1,99	0,31	4,39	0,807
průměrné hodnoty	0,49	3,411	0,613	1,705	1,708	-0,066	3,217	0,8063

### Měření drsnosti povlaku 6615

Tab. 12 Nastavení drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-301 pro povlak 6615

Work	Measurin	Standard	Profile	Range
Sample	SurfTest SJ-301	ISO 1997	R	Auto
Operator	Comment	N	λc	Filter
Mitutoyo	Ver 2.1	5	0,8 mm	GAUSS



Obr. 27 Grafický záznam profilu drsnosti povlaku 6615 z přístroje Mitutoyo Surftest SJ-301

Tab. 13 Hodnoty naměřené drsnoměrem Mitutoyo Surftest SJ-301 povlaku 6615

Počet měření	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Rq [ $\mu\text{m}$ ]	Rp [ $\mu\text{m}$ ]	Rv [ $\mu\text{m}$ ]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	0,45	3,17	0,57	1,50	1,67	-0,32	3,06	0,808
2	0,48	4,07	0,64	2,29	1,79	0,35	4,71	0,809
3	0,46	3,41	0,57	1,52	1,89	-0,34	3,20	0,808
4	0,47	3,97	0,64	2,22	1,75	0,11	4,63	0,809
5	0,40	2,85	0,50	1,49	1,36	0,23	3,00	0,809
6	0,44	3,18	0,55	1,57	1,61	-0,11	2,88	0,809
7	0,51	4,00	0,67	2,08	1,93	-0,18	3,36	0,809
8	0,53	3,29	0,68	1,29	2,01	-0,70	3,04	0,808
9	0,47	3,09	0,59	1,50	1,59	-0,40	2,86	0,808
10	0,50	3,41	0,65	1,33	2,08	-0,67	3,20	0,808
min	0,40	2,85	0,50	1,29	1,36	-0,70	2,86	0,808
max	0,53	4,07	0,68	2,29	2,08	0,35	4,71	0,809
průměrné hodnoty	0,47	3,444	0,606	1,679	1,768	-0,203	3,394	0,8085

Měřením jednotlivých povlaků byla zjištěna průměrná hodnota drsnosti  $Ra0,4 \mu\text{m}$ . Zkoušené břitové destičky mají zhruba stejnou drsnost s malými odchylkami v řádech setinách mikrometru. To svědčí o tom, že povlaky byly nanesené stejnou metodou.

#### 6.4 Fázové rozhraní a měření tloušťek vrstev povlaků

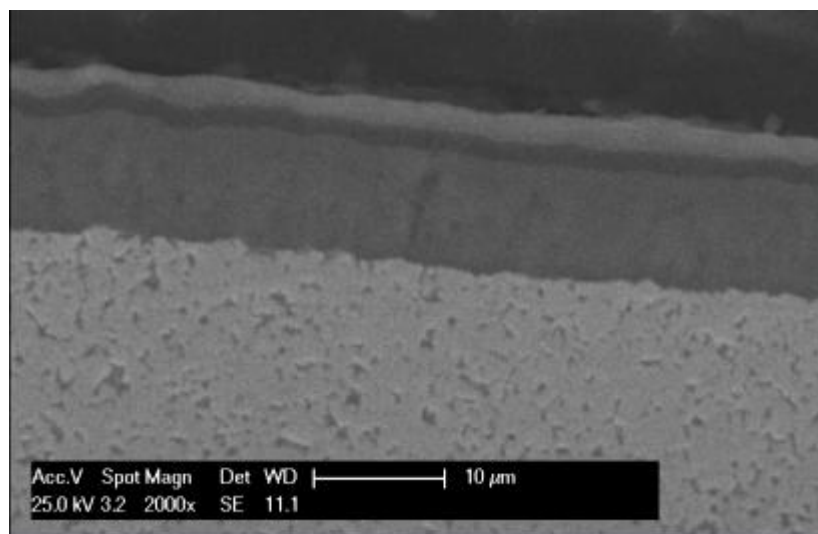
Touto zkouškou se zkoumalo fázové rozhraní povlaků, zda jsou jedno nebo vícevrstvé. Dále se zkoumala tloušťka jednotlivých vrstev povlaku. Vzorky se před zkouškou zalily do pryskyřice. Po ztuhnutí se provedlo broušení vzorků, pro vytvoření plochy pro experimentální měření obr. 28. Na tuto plochu se nanese NITAL (3% roztok kyseliny dusičné v etylalkoholu), aby se povrch mírně naleptal a tím vynikla struktura.



Obr. 28 Vzorky zalité v pryskyřici po broušení



## Fázové rozhraní a měření tloušťek vrstev povlaku 9230



Obr. 29 Fotodokumentace fázového rozhraní povlaku 9230.  
(foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 2000x)

Z obrázku lze určit, že povlak je vícevrstvý. Povlak je tvořen ze dvou vrstev. Spodní vrstva je mnohem silnější než vrstva vrchní. Na snímku je i vidět, jak vrstvy povlaku kopírují nerovnosti podkladového materiálu.

Tab.14 Naměřené tloušťky jednotlivých vrstev povlaku 9230.

Povlak 9230			
Měření první vrstvy povlaku		Měření druhé vrstvy povlaku	
Počet měření	Naměřené hodnoty	Počet měření	Naměřené hodnoty
1	8	1	2
2	8	2	2
3	8	3	2
4	7	4	2
5	8	5	2
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>7,8</b>	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>2</b>





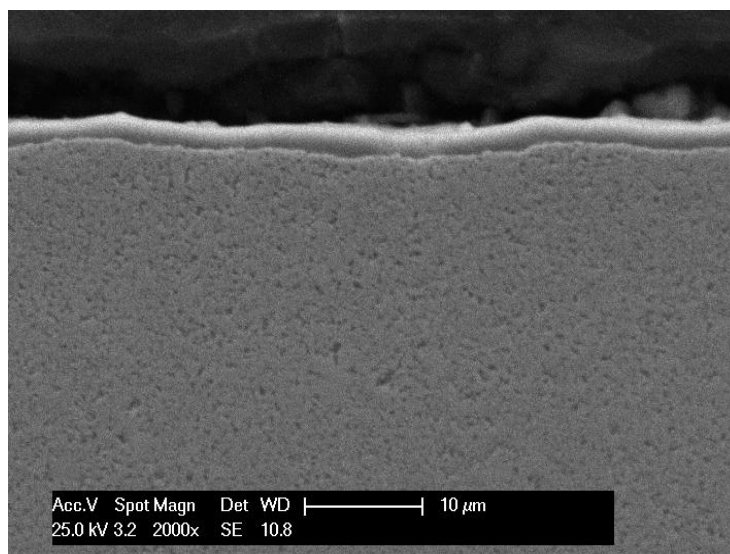
*Obr. 30 Fotodokumentace tloušťek vrstev povlaku 9230.*

*Na obrázku je vidět jen několik měřených míst.*

*(foceno na metalografickém mikroskopu NEOPHOT 2)*

Měřením tloušťek vrstev bylo zjištěno, že spodní vrstva má tloušťku 8  $\mu\text{m}$ . Měření se provedlo v různých místech. Ukázalo se, že vrstva neměla zcela konstantní tloušťku. V určitém místě bylo naměřeno 7  $\mu\text{m}$ . Druhá vrstva se ukázala, z výsledku měření, že má konstantní tloušťku vrstvy 2  $\mu\text{m}$ .

#### **Fázové rozhraní a měření tloušťek vrstev povlaku 8030**



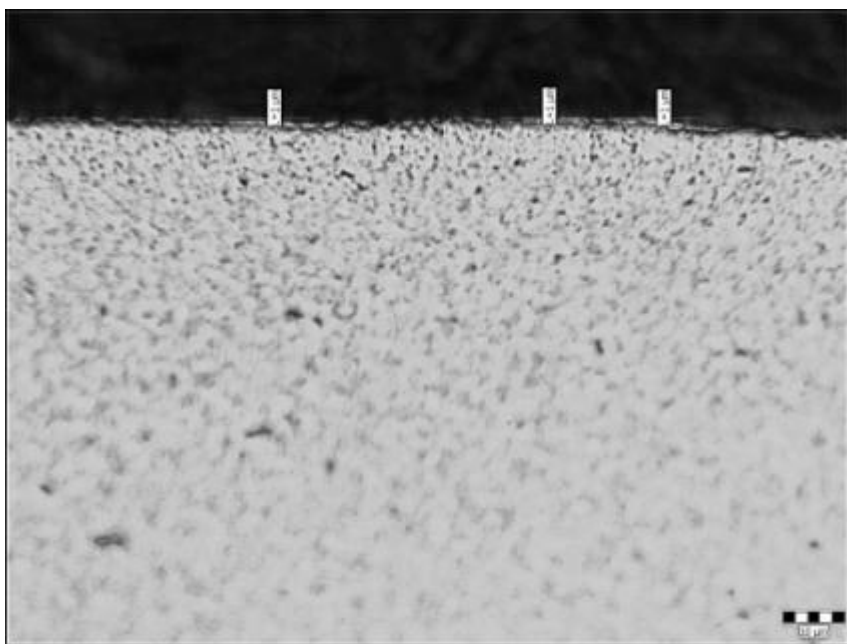
*Obr. 31 Fotodokumentace fázového rozhraní povlaku 8030*

*(foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 2000x)*

Snímek ukazuje, že povlak 8030 je jednovrstvý. Podle měřítka na obrázku má vrstva povlaku tloušťku menší než 10  $\mu\text{m}$ .

Tab. 15 Naměřené tloušťky vrstvy povlaku 8030.

Povlak 8030	
Měření vrstvy povlaku	
Počet měření	Naměřené hodnoty
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
Průměrná hodnota	1

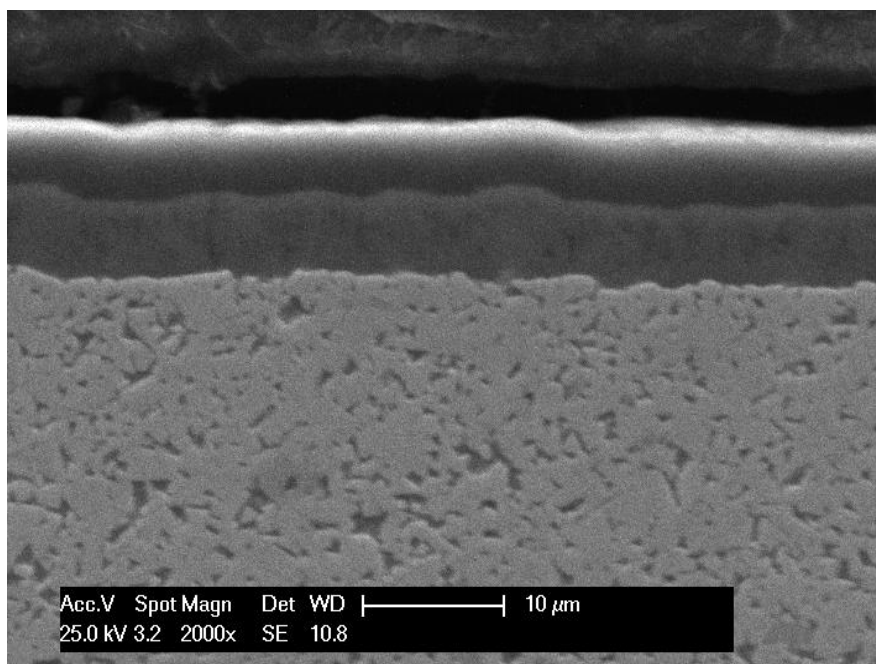


Obr. 32 Fotodokumentace tloušťky vrstvy povlaku 8030.

Na obrázku je vidět jen několik měřených míst.

(foceno na metalografickém mikroskopu NEOPHOT 2)

Měření tloušťky vrstvy ukázalo, že vrstva je velmi tenká a dosahuje jednoho mikrometru.

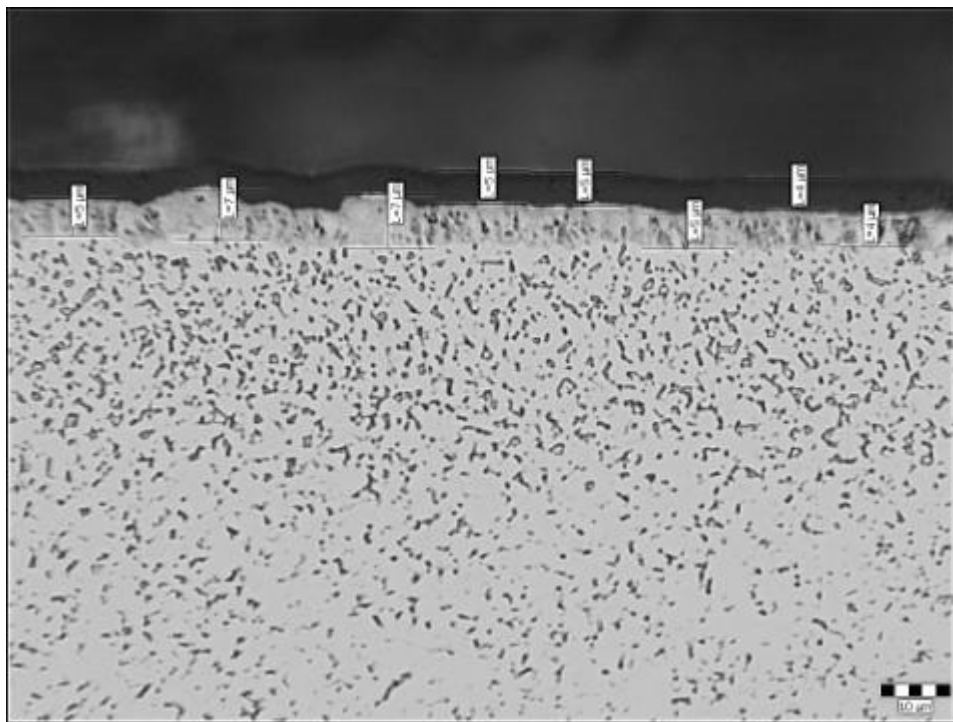
**Fázové rozhraní a měření tloušťek povlaku 6615**

*Obr. 33 Fotodokumentace fázového rozhraní povlaku 6615  
(foceno na elektronovém mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30, zvětšeno 2000x)*

Podle snímku je vidět, že povlak je vícevrstvý. Skládá se ze dvou vrstev, které mají zhruba stejnou tloušťku.

Tab. 16 Naměřené tloušťky jednotlivých vrstev povlaku 6615.

<b>Povlak 6615</b>			
<b>Měření první vrstvy povlaku</b>		<b>Měření druhé vrstvy povlaku</b>	
<b>Počet měření</b>	<b>Naměřené hodnoty tloušťek vrstvy</b>	<b>Počet měření</b>	<b>Naměřené hodnoty tloušťek vrstvy</b>
1	5	1	5
2	7	2	5
3	7	3	4
4	5	4	4
5	4	5	5
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>5,6</b>	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>4,6</b>



*Obr. 34 Fotodokumentace tloušťek vrstev povlaku 6615.*

*Na obrázku je vidět jen několik měřených míst.*

*(foceno na metalografickém mikroskopu NEOPHOT 2)*

Na obrázku je vidět, že měření spodní vrstvy povlaku ovlivnila nerovnost podkladového materiálu, kterou povlak kopíroval. V těchto místech byly naměřeny větší rozměry tloušťky vrstvy než v místech neovlivněných nerovností. Průměrná hodnota tloušťky vrstvy je 5,6  $\mu\text{m}$ . Druhá vrstva také kopírovala tyto nerovnosti a odrazilo se to i na výsledku měření. Průměrná hodnota tloušťky druhé vrstvy je 4,6  $\mu\text{m}$

## 6.5 Korozní zkouška odolnosti dle ČSN EN ISO 9227

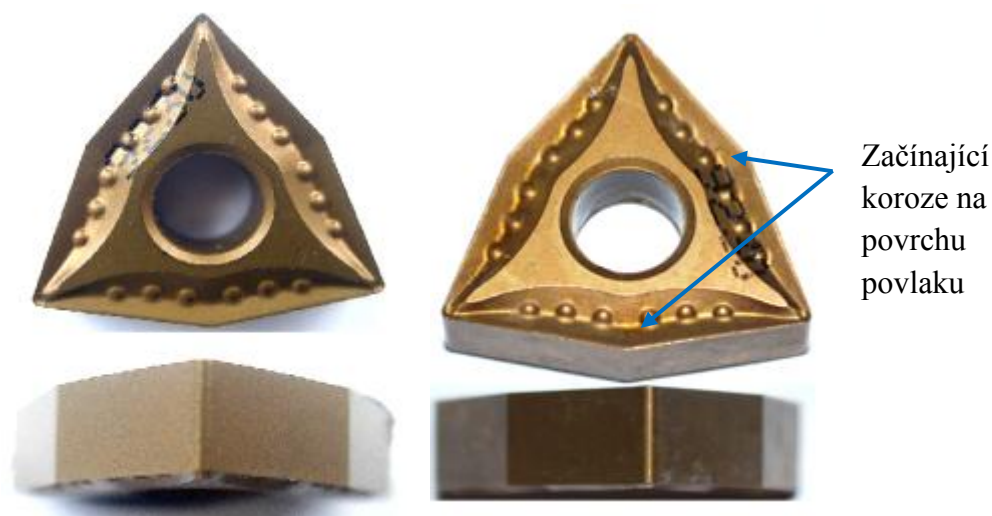
Korozní zkouška byla zrealizována v solné korozní komoře LIEBISCH S400 M-TR. Solné korozní komory představují jeden z nejmodernějších a nejvšestrannějších systémů pro hodnocení korozní odolnosti. Zkouška byla provedena v souladu s ČSN EN ISO 9227. Vyhodnocení pak dle ČSN EN ISO 4628. [13]

Do solné komory byly vloženy celkem tři břitové destičky s povlakem TiAlN označený 9230, TiAlSiN označený 8030 a povlak TiAlSiAgN označený 6615. Tyto vzorky byly po cyklech 0 a 72 hod. sledovány a fotograficky dokumentovány.

Provozní podmínky solné komory LIEBISCH S400 M-TR:[9]

- Tlak vzduchu 3÷4 bar
- Tlak vody 2,5÷3 bar
- Průtok vody 0,45 l/hod.
- Teplota prostředí 35±2°C
- Teplota navlhčovače 55°C
- Vlhkost 100%
- Solná mlha – 5% neutrální vodný roztok NaCl

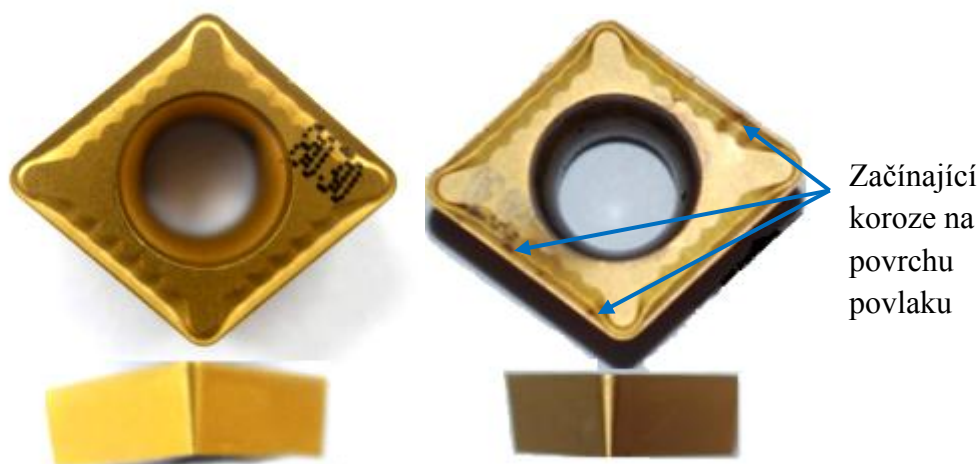
Doba, 72 hod. působení solné mlhy na vzorky v korozní komoře, odpovídá době 1 roku působení v běžném prostředí.

**Fotodokumentace vzorků na začátku a na konci cyklu korozní zkoušky.**

*Obr. 35 Vyměnitelná břitová destička s povlakem TiAlN označená 9230*

*Vlevo před vložením do korozní komory (0 hod. expozice v korozní komoře), vpravo po 72 hod. expozice v korozní komoře*

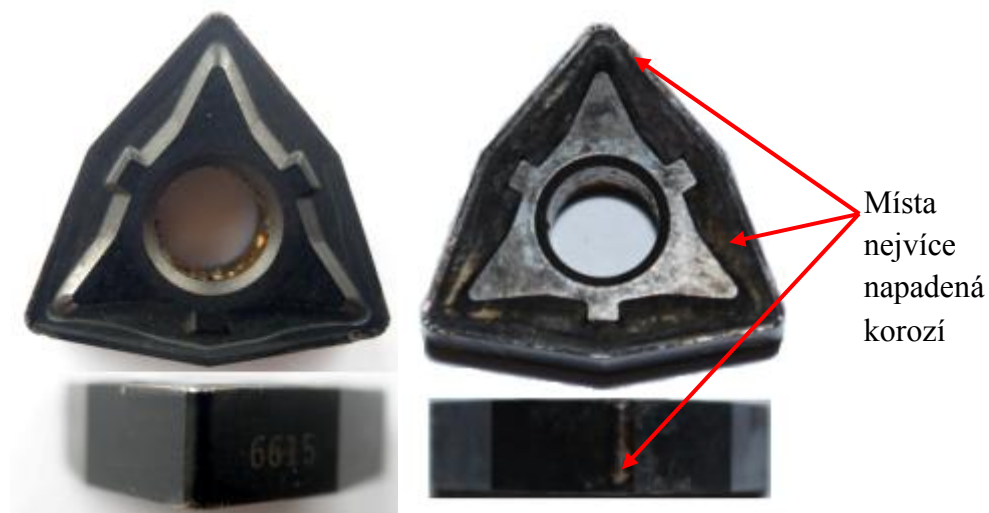
Na povlaku TiAlN se po 72 hod. v korozní komoře neobjevilo velké napadení koroze. Koroze se vyskytovala jen na několika místech povrchu. Jedná se o začínající povrchovou oxidaci. Tento povlak je tvořen ze dvou vrstev, proto má větší odolnost vůči oxidaci.



*Obr. 36 Vyměnitelná břitová destička s povlakem TiAlN označená 8030*

*Vlevo před vložením do korozní komory (0 hod. expozice v korozní komoře), vpravo po 72 hod. expozice v korozní komoře*

Povlak TiAlSiN po vyjmutí z korozní zkoušky vykazoval podobné známky korozního napadení jako povlak TiAlN, ovšem s čtenějším výskytem. Na několika místech se objevila začínající povrchová koroze viz obr. 37.



*Obr. 37 Vyměnitelná břitová destička s povlakem TiAlN označená 6615*

*Vlevo před vložením do korozní komory (0 hod. expozice v korozní komoře), vpravo po 72 hod. expozice v korozní komoře*

Povlak TiAlSiAgN po 72 hod. v korozní komoře dopadl nejhůře. Korozní napadení je téměř po celém povrchu. Nejvíce napadená místa jsou na hranách břitové destičky viz obr. 37.

---

## 7 ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci se zabývám studiem vlastností povlaků aplikovaných na obráběcí nástroje. V teoretické části jsem prostudovala a uvedla několik povlaků, které se používají na obráběcí nástroje v současné době. Dále jsem prostudovala a popsala vlastnosti a technologie nanášení povlaků.

V experimentální části práce byly provedeny zkoušky vybraných vlastností povlaků. Experimentální vzorky pro zkoušení byly vyměnitelné břitové destičky (VBD) s blíže nespecifikovatelnými povlaky. Experimentální VBD měly označení 9230 (barva měděná), 8030 (barva zlatá) a 6615 (barva černá). První zkouškou byla chemická analýza, pro zjištění typů povlaků a jejich podkladových materiálů (matrič). Po této zkoušce bylo zřejmé, že povlak 9230 je na bázi TiAlN, povlak 8030 je na bázi TiAlSiN a povlak 6615 je na bázi TiAlSiAgN. Později bylo zjištěno, že povlak TiAlSiN obsahuje nanočástice Si. Podkladový materiál byl u všech povlakovaných destiček totožný. Jednalo se o řeznou slitinu *stelit*. U všech podkladových materiálů byl obsah cca 10% Co a 90% W. Další zkouškou bylo měření drsnosti, které bylo provedeno na funkčních plochách břitových destiček (čelo břitu). Všechny povlaky vykazovaly zhruba stejnou drsnost, v průměru Ra0,4  $\mu\text{m}$  s malými odchylkami v řádech setinách mikrometru. Nejmenší drsnost byla naměřena na povlaku TiAlSiN Ra0,42  $\mu\text{m}$ . Na povlacích se také zjišťovalo fázové rozhraní povlaků, zda jde o jednovrstvé nebo vícevrstvé povlaky a jaké tloušťky mají tyto vrstvy. Povlak TiAlN označený 9230 se ukázal jako dvouvrstvý s tloušťkou první vrstvy 8  $\mu\text{m}$  a tloušťkou druhé vrstvy 2  $\mu\text{m}$ . Povlak má tedy celkovou tloušťku 10  $\mu\text{m}$ . Povlak TiAlSiN označený 8030 se ukázal jako jednovrstvý nanostrukturní povlak s tloušťkou vrstvy 1  $\mu\text{m}$ . Povlak TiAlSiAgN označený 6615 je tvořen ze dvou vrstev, stejně jako povlak TiAlN. Tloušťka první vrstvy je v rozmezí od 4  $\mu\text{m}$  do 7  $\mu\text{m}$ . Tloušťka druhé vrstvy je cca 5  $\mu\text{m}$ . Poslední experimentální zkouškou byla odolnost vůči koroznímu napadení v korozní komoře v prostředí solné mlhy, kde byly vzorky vystaveny po dobu 72 hodin. Což přibližně odpovídá životnosti 1 roku v reálném korozním prostředí. Nejhuře dopadl povlak TiAlSiAgN, koroze se vyskytovala téměř na celém povrchu. Povlaky TiAlN a TiAlSiAgN vykazovaly podobné známky korozního napadení. Nejlépe při zkoušce korozní odolnosti vyšel povlak TiAlSiN, protože se jedná o nanostrukturní povlak s tloušťkou povlaku jen 1  $\mu\text{m}$ .

Na základě dosažených výsledků v bakalářské práci lze konstatovat, že povlak TiAlSiN obstál nejlépe ze všech zkoušených povlaků.



---

## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HOLUBÁŘ, Pavel, Mojmír JÍLEK a Milan RŮŽIČKA. *Moderní PVD povlaky pro řezné aplikace a tváření*. [online]. 2004, s. 106 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-pvd-povlaky-pro-rezne-aplikace-a-tvareni.html>
- [2] ZINDULKA, Ondřej. *Moderní metody povlakování nástrojů* [online]. MM Průmyslové spektrum, 2004 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-metody-povlakovani-nastroju.html>
- [3] *Trendy v povlakování slinutých karbidů*. [online]. 2001, s. 43 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>
- [4] LIBRA, Martin. *Naprašování tenkých vrstev: ITO - tenké vrstvy pro elektrotechniku*. [online]. 2003, roč. 2003, č. 07 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=25484](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25484)
- [5] ODDĚLENÍ POVRCHOVÉHO INŽENÝRSTVÍ, Ateam. *Zkoušky tvrdosti*. [online]. s. 12 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: [http://www.ateam.zcu.cz/Zkousky\\_tvrlosti.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/Zkousky_tvrlosti.pdf)
- [6] ŠÍMA, Michal, Mojmír JÍLEK a Pavel HOLUBÁŘ. *Měření vlastností povlaků na nástrojích*. [online]. 2004 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: [http://www.mmspektrum.com/clanek/mereni-vlastnosti-povlaku-na na-nastrojich.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/mereni-vlastnosti-povlaku-na-na-nastrojich.html)
- [7] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie, část 1. Učební texty VŠB – TU Ostrava*, 2008, 1. vyd. 112 s. ISBN 978-80-248-0671-6
- [8] NĚMCOVÁ, Aneta a Bohumil PACAL. *Korozní zkoušení kovových materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010, s. 36.

- [9] SUCHÁNKOVÁ, K.: *Studium vlivu povrchové úpravy kovového substrátu pro aplikaci povlaku obsahující nanočástice*, Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2010, 85 s. Diplomová práce, vedoucí: Podjuklová, J.
- [10] ŠÍMA, Michal a Ondřej ZINDULKA. *Měření vlastností povlaků na nástrojích*. [online]. [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <<http://shm-cz.cz/files/literatura/29.pdf>>
- [11] ZINDULKA, Ondřej. *Moderní metody povlakování nástrojů*. [online]. 2004[cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <<http://shm-cz.cz/files/literatura/31.pdf>>
- [12] ČSN EN ISO 4287: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – struktura povrchu: Profilová metoda – termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, Březen 1999, 22 s.
- [13] ČSN EN ISO 9227: Korozní zkoušky v umělých atmosférách – zkoušky solnou mlhou. Praha: Český normalizační institut, Březen 2007, 24 s.